

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-5881

(P2000-5881A)

(43) 公開日 平成12年1月11日 (2000.1.11)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード (参考)
B 2 3 K 11/24	3 4 0	B 2 3 K 11/24	3 4 0
	3 3 6		3 3 6
11/11	5 2 0	11/11	5 2 0
	5 7 0		5 7 0 Z
B 2 5 J 13/00		B 2 5 J 13/00	Z
審査請求 未請求 請求項の数 5 F D (全 13 頁)			

(21) 出願番号 特願平10-189874

(22) 出願日 平成10年6月19日 (1998.6.19)

(71) 出願人 390008235

ファナック株式会社

山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地

(72) 発明者 小坂 哲也

山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地 ファナック株式会社内

(72) 発明者 大神田 光一

山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地 ファナック株式会社内

(74) 代理人 100082304

弁理士 竹本 松司 (外4名)

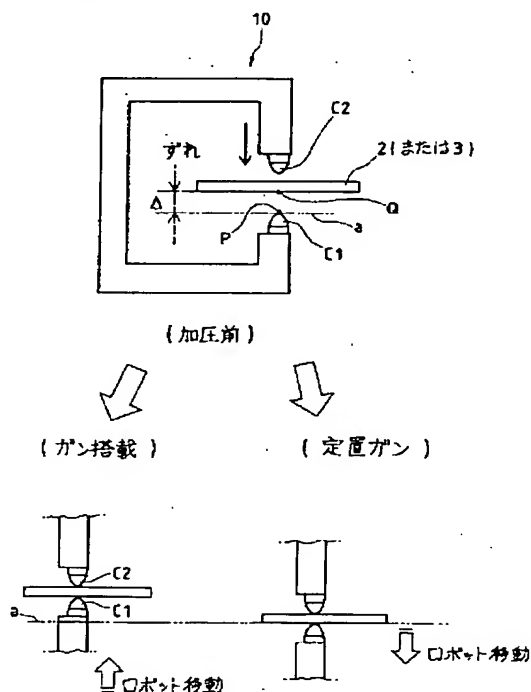
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スポット溶接に利用されるロボットのための制御装置

(57) 【要約】

【課題】 ガン加圧動作時に適正に剛性を低下させ、正しいガン姿勢を維持しつつガン及びロボットにかかる反力を軽減出来るようにする。

【解決手段】 ロボットにガンを搭載する場合にはツール座標系を、定置ガンを使用する場合にはワーク座標系を、(1)座標系の原点を固定側チップC1先端に選び、座標系の姿勢はZ軸がガン加圧方向と平行に選ぶ。柔らかさ入力画面でZ軸方向の剛性低下を入力する。ガン加圧動作に先だて、画面で設定された条件に従ってサーボ系の剛性を下げる。ガン加圧方向の剛性を下げたまま、ガンの加圧と溶接を実行する。ロボットは、ロボットにガン搭載時/定置ガン使用時に応じてロボットが移動して、ずれΔを補償した位置で溶接が実行される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 スポット溶接ガンを用いたスポット溶接に利用されるロボットのための制御装置であって、前記スポット溶接ガンに固定された直交座標系上で指定された方向の剛性を予め設定した条件の下で前記ロボットを動作させる直交ソフトフロート機能を有効にする手段を備え、

前記スポット溶接ガンのガン加圧時に、ガン加圧方向に対応するように前記直交座標系上で指定された方向に関する剛性を低く設定した条件で前記直交ソフトフロート機能を有効にするようにした前記制御装置。

【請求項2】 前記スポット溶接ガンは前記ロボットに搭載されており、前記直交座標系は前記ロボットに設定されたツール座標系である、請求項1に記載されたスポット溶接に利用されるロボットのための制御装置。

【請求項3】 前記スポット溶接ガンは前記ロボットの外部に設置され、前記直交座標系は前記ロボットの外部に設置された前記スポット溶接ガン上に固定された直交座標系である、請求項1に記載されたスポット溶接に利用されるロボットのための制御装置。

【請求項4】 前記ガン加圧方向に対応するように前記直交座標系上で指定された方向に関する剛性の設定内容は変更可能である、請求項1、請求項2または請求項3に記載されたスポット溶接に利用されるロボットのための制御装置。

【請求項5】 前記ガン加圧方向に対応するように前記直交座標系上で指定された方向に関する剛性を低くすることにより、溶接点に対するロボットの位置ずれを補正し、スポット溶接ガンのチップの摩耗補正を不要とした、請求項4に記載されたスポット溶接に利用されるロボットのためのロボット制御装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、スポット溶接ガンを用いてスポット溶接を行なう際に利用されるロボットのための制御装置に関し、更に詳しく言えば、前記ロボット制御装置にソフトイコライジング機能を持たせるための技術に関する。本発明は、ロボット側にスポット溶接ガンが搭載されるケースとロボットが被溶接ワークを把持するケースのいずれに対しても適用可能である。

## 【0002】

【従来の技術】スポット溶接用の溶接ガンとしてガン軸の駆動にサーボモータを使用するものが知られており、一般にサーボガンと呼ばれている。一般に、サーボガンはロボットに搭載されるか、あるいは外部に据え付けられる。前者のケースでは、図1に示したように、ロボットRB1の手先部にサーボガン10が搭載され、固定チップC1と可動チップC2の間に挟み込まれたワーク（例えば2枚の板材。以下同様。）2に対してスポット溶接が行なわれる。

【0003】また、後者のいわゆる定置スポット溶接ガンを使用するケースでは、図2に示したように、ロボットRB2の手先部に取り付けられたハンドHでワーク3を把持し、外部に設置されたサーボガン10の固定チップC1と可動チップC2の間に挟み込んでスポット溶接が行なわれる。なお、図2に示したケースではワーク3の把持のために、ワーク3の突起部3aが利用されている。

【0004】図1、図2いずれのケースにおいても、ガン10は1軸サーボガンで、固定チップC1はガンボディ及びそれを取り付けたロボット手先部（最終軸で駆動される部分）に対して固定された電極チップであり、可動チップC2は固定チップC1に対し、ガン軸方向（矢印）に並進移動する電極チップである。

【0005】ロボットのツール先端点(TCP)は、図1のケース（ガン搭載）では固定チップC1先端付近に設定され、図2のケース（ワーク把持）ではハンドHの中心付近に設定されるのが通例である。そして、スポット溶接実行時のツール先端点TCPの位置（「姿勢」も含む。以下、特に断わりのない限り同じ。）は、ロボットに予め教示される。

【0006】このような旧来技術において生じる一つの問題は、チップC1、C2の摩耗や教示誤差に起因してワーク2、3に破損（変形やきず）、溶接不良等が発生することであった。図3はその発生原因を説明する図である。同図に示したように、チップC1、C2の摩耗、教示誤差等があると、教示位置にロボットが位置決めされた時の固定チップC1の先端位置Pが、理想的な位置Qからずれることになる。なお、図1のケース（ガン搭載）では点P、Qは、ほぼTCPの現実の位置及び理想位置に対応する。

【0007】今、ずれの大きさ $\Delta$ が無視出来ない大きさになった状態で、サーボガン10にガン加圧動作を行なわせると、可動チップC2がワーク2（または3）に衝突し、ガン及びロボットにかかる反力によってワークの傷付けを起し、甚だしい場合には図示したようなワーク変形等の事故に至る。また、溶接品質も当然低下する。このような事態を避ける技術としてソフトフローティングと呼ばれる手法を用いることが知られている（例えば、特開平-255015号公報参照）。この手法によれば、ガン加圧時には、ゲイン調節によってロボット各軸の剛性を落し、ガン及びロボットにかかる反力を軽減して上記弊害を回避する。

【0008】しかし、ガン加圧を行う際のロボットの姿勢は様々であり、全軸の剛性を低下させたのでは、加圧時に正しいガン姿勢を維持出来ない。また、各軸毎にゲインの個別調整を行なおうとしても、どの軸の剛性をどの程度低下させるかの選択が難しく、また、ガン加圧を行う際のロボットの姿勢が変われば適正な各軸のゲイン値も変わってしまうという問題もある。

## 【0009】

【発明が解決しようとする課題】そこで本発明の目的は、スポット溶接に利用されるロボットの制御装置を改良し、ガン加圧動作時にロボット姿勢の如何に関わらず適正に剛性を低下させ、正しいガン姿勢を維持しつつガン及びロボットにかかる反力を軽減出来るようにすることにある。また、本発明はそのことを通して、ワーク破損、溶接品質低下、剛性低下のためのゲイン調整等にする作業時間の増大等の防止を図ったものである。なお、このようにガン加圧動作時に無理な負荷をかけずに正しいガン姿勢を維持させる機能は、イコライジング機能と呼ぶべき機能である。

## 【0010】

【課題を解決するための手段】本発明は、スポット溶接ガンを用いたスポット溶接に利用されるロボットのための制御装置に、スポット溶接ガンに固定された直交座標系上で指定された方向の剛性を予め設定した条件の下でロボットを動作させる直交ソフトフロート機能を有効化する手段を具備させ、スポット溶接ガンのガン加圧時に、ガン加圧方向に対応するように直交座標系上で指定された方向に関する剛性を低く設定した条件で直交ソフトフロート機能を有効化させることによって、上記技術課題を解決したものである。

【0011】スポット溶接ガンをロボットに搭載した場合、直交座標系はロボットに設定されたツール座標系とすることが出来る。また、スポット溶接ガンがロボットの外部に設置される場合には、直交座標系はそのスポット溶接ガン上に固定された直交座標系とすれば良い。ガン加圧方向に対応するように直交座標系上で指定された方向に関する剛性の設定内容は、変更可能であることが好ましい。

【0012】ロボットにスポット溶接ガンが搭載される場合の典型的な一つの実施形態に従えば、スポット溶接ガンの固定側チップ先端にツール座標系が定義される。この時、ツール座標系の1つの軸がガン加圧方向と平行になるようにすること出来る。そして、加圧時にはガンと平行なツール座標系の軸方向に関して運動の剛性が下がるようにサーボ系の剛性を下げる。

【0013】定置ガンを用いた典型的な一つの実施形態に従えば、定置スポット溶接ガンの固定側チップ先端に設定されたワーク座標系をツール座標系の代わりに用い、そのワーク座標系の1つの軸がガン加圧方向と平行になるようにすること出来る。そして、加圧時にはガンと平行なツール座標系の軸方向に関して運動の剛性が下がるようにサーボ系の剛性を下げる。

【0014】なお、任意の加圧位置でツール座標系あるいはワーク座標系のある軸の方向にサーボ系の剛性を下げるサーボ制御法は既知の技術である。

## 【0015】

【発明の実施の形態】図4は、本発明が適用されるス

ット溶接システムのハードウェア構成を要部ブロック図で示したものである。符号30はロボット制御装置を表わしており、ロボットRB(RB1またはRB2)の各軸の制御、サーボガン10のガン軸(C2軸)並びにサーボガン10に対する溶接電力供給の制御を行なう。なお、定置ガン使用の場合はロボットRB2がワークを把持する(図2参照)。

【0016】ロボット制御装置30は、ホストCPU31、共有RAM32、サーボCPU33、サーボアンプ34、メモリ35、教示操作盤用インターフェイス36並びに一般外部装置用の入出力装置38を備えている。メモリ35は、システムプログラムが格納されたROM、データの一時記憶用のRAM、及びシステム(ロボットRBと1軸サーボガン10)の動作を定めた各種プログラムデータが格納された不揮発性メモリを含んでいる。

【0017】教示操作盤用インターフェイス36に接続された教示操作盤37は、プログラムデータの入力、修正、登録や、ジョグ送り指令、再生運転指令等のマニュアル入力に利用される。また、外部装置用入出力装置38に接続された溶接用電力電源装置39は、駆動ユニットを介して溶接用電力を供給する。

【0018】再生運転あるいはジョグ送りには、ホストCPU31はロボットの各軸及び付加軸として設定されたガン軸(C2軸)に対する移動指令を作成し、共有RAM32へ出力する。サーボCPU33はこれを短周期で読み出し、ロボット各軸並びにガン軸(C2軸)の位置検出器(パルスコード)から送られてくる位置信号(フィードバック)信号に基づいてサーボ処理を実行し、各軸のサーボアンプ34に電流指令を出力し、ロボット各軸及びガン軸(C2軸)のサーボモータを駆動する。

【0019】上述した構成と機能は、通常のスポット溶接ロボットシステムのそれと特に変わることはない。本実施形態が従来と異なるのは、メモリ35にソフトイコライジング機能に関連した処理(後述)を定めたプログラム及びパラメータが格納されていることである。ソフトイコライジング機能には、直交座標系上のフローティング動作が利用される。直交座標系上のソフトフローティング動作実行時には、ホストCPU31から直交座標系上のソフトフローティングの信号が出力され、サーボCPU33がソフトフローティング信号に適合したサーボ処理(詳細後述)を実行してロボットの所定の軸を柔軟に動作させる。

【0020】次に、以上の事項を前提に、本実施形態におけるスポット溶接の実行手順と処理について説明する。なお、スポット溶接を実行するロボット位置(TCPの位置)については、通常的方式(例えばティーチング・プレイバック方式)により教示済みであるものとする。また、ソフトフローティングの方向指定に用いられ

る座標系をここでは「フローティング方向指定座標系」と呼ぶ。

#### 【0021】 [準備]

1. 次のように、ロボットにガンを搭載する場合にはツール座標系を、また、定置ガンを使用する場合にはワーク座標系を設定する。

#### 【0022】 (1) 座標系の原点を固定側チップC1

(図1参照) 先端に選ぶ。

(2) 座標系の姿勢は、1つの軸 (ここではZ軸方向) がガン加圧方向と平行に選ぶ。

2. 教示操作盤37に付設されたLCDに図5に示されたような柔らかさ入力画面を呼び出す。そして、フローティング方向指定座標系のX軸、Y軸、Z軸方向及びX軸回り、Y軸回り、Z軸回りの各々について剛性低下の度合を画面入力する。

【0023】 「ヤワラカ ワリアイ」の欄に入力される%数値が大きい程柔らかい状態が設定され、入力される数値が小さい程硬い状態が設定される。0%は剛性低下がなされないことを意味している。「ヤワラカ リミット」の欄には、最大許容値 (これ以上大きな値は設定禁止) が自動表示される。「ヤワラカ リミット」の設定値 (表示値) は、例えば製品出荷時に内部パラメータで設定される。

【0024】 ここではZ軸方向がガン開閉方向なので、Z軸方向以外の成分に関しては「ヤワラカ ワリアイ」、「ヤワラカ リミット」とともに0%とし、Z軸方向に関して「ヤワラカ ワリアイ」を80%、「ヤワラカ リミット」は90%とした例が示されている。

【0025】 [プログラムの実行] スポット溶接実行時の処理の流れを図6に示すフローチャートで説明する。各ステップの要点は次の通りである。

ステップS1=プログラムの実行を開始し、プログラムの1ポイントデータを読み込む。

ステップS2=読み込んだデータにガン加圧命令またはスポット溶接命令が教示されているかを判断する。ガン加圧命令、スポット溶接命令のいずれも教示されていない場合にはステップS3へ進み、ガン加圧命令またはスポット溶接命令が教示されている場合には、ステップS4へ進む。

【0026】 ステップS3=標準のサーボ系の剛性のままプログラム命令を実行する。

ステップS4=図5の画面で設定された条件に従ってサーボ系の剛性を下げる。ここでは、Z軸方向に関してのみ標準値の10%に下方変更する。

【0027】 ステップS5=ガン加圧方向の剛性を下げたまま (直交座標系上でソフトフローティング有効化)、ガンの加圧と溶接を実行する。

ステップS6=溶接完了を確認する。

ステップS7=ガンを開放する。

ステップS8=サーボ系の剛性を元に戻す (ソフトフロ

ーティング有効化の解除)。

【0028】 ステップS9=プログラムが終了するまでステップS1～ステップS8を繰り返す。

以上の処理により、ガンの加圧動作を行った際の様子を図7を参照して説明する。図3の関連説明で述べた通り、チップC1、C2の摩耗、教示誤差等があると、教示位置にロボットが位置決めされた時の固定チップC1の先端位置Pが、理想的な位置Qからずれることになる。

10 【0029】 先ず、ロボットがガンを搭載している場合 (左下部参照) には、可動チップC2がワーク2 (または3) に当接した時点からガン及びロボットに反力 (Z軸方向) が生じ、低剛性による小さな抗力に打ち勝ってロボットが矢印の方向に移動する。その結果、図3のケースと異なり、ずれΔを補償した位置で溶接を実行することが出来る。従って、ワーク損傷が防止され、溶接の品質の劣化しない。

20 【0030】 次に、定置ガンが使用された場合 (右下部参照) には、可動チップC2がワーク2 (または3) に当接した時点からワーク及びロボットに反力 (Z軸方向) が生じ、この反力が低剛性による小さな抗力に打ち勝ってロボット (ワーク) が矢印の方向に移動する。その結果、やはり図3のケースと異なり、ずれΔを補償した位置で溶接を実行することが出来る。従って、ワーク損傷が防止され、溶接の品質も劣化しない。

【0031】 直交座標系の各座標軸方向に関して柔らかさ (バネ定数) を設定して空間内の方向別に外力に対する順応性の大小を指定出来る方式は前述したように周知であり、例えば特開平8-227320号公報に詳細な開示がある。以下に、直交座標系上のソフトフローティングについて概略を述べておく。

【0032】 一般に、ロボットを駆動する各軸のサーボモータの制御は、通常、位置制御ループ及び速度制御ループを有するサーボ系によって制御されている。図8はこれを示したブロック図で、符号101は位置ループゲインKpの項、符号102は速度ループゲインKvの項である。また符号103、104はモータの伝達関数の項であり、各々トルク定数Kt、イナーシャJで表わされる。更に、符号105はモータ速度vを積分してモータ位置qを求める伝達関数で、sはラプラス演算子を表わしている。

【0033】 ホストCPU31の処理で作成される移動指令rと位置検出器から出力されるモータ位置qより位置偏差eが算出され、該位置偏差eに位置ループゲインKpを乗じて速度指令vcが出力される。更に、速度偏差eが速度指令vcとモータ速度vより算出され、この速度偏差eに速度ループゲインKvを乗じてトルク指令tcが出力される。そして、該トルク指令tcに応じた駆動電流がモータに供給される。なお、速度ループの制御においては、P制御に代えてPI制御またはIP制御

が適用されることもある。

【0034】このようなサーボ系（P I 制御もしくはI P 制御）において、位置ループゲイン $K_p$ 及び速度ループゲイン $K_v$ を十分小さくすれば、位置偏差 $e$ が0になつていなくとも速度指令 $v_c$ 及びトルク指令 $t_c$ の値の増大が抑止される。従つて、その時点におけるトルクに打ち勝つ外力を作用させれば、外力に順応する（負ける）運動を生じさせることが可能になる。

【0035】ソフトフローティングはこの考え方を基礎にしたもので、ソフトフローティング有効指令の入力時に、通常制御時のゲイン値 $K_p$ 、 $K_v$ を予め十分に小さく設定されたソフトフローティング用ゲイン値 $K_p'$ 、 $K_v'$ に各々切り換える方式で実施することが出来る。

【0036】直交座標系上で選択的にソフトフローティングを有効化する手法は、これを発展させた手法で、以下、便宜的に項分けしてこの手法を説明する。

[1] 先ず、空間内に定義された直交座標系（前述のソフトフローティング直交座標系で、以下 $\Sigma R$ で表記する）上でのサーボの柔らかさを表わすパラメータの組を設定する。設定例は前述した通りである。ソフトフローティングを有効化した場合には、前記設定されたパラメータの組と、直交座標系上での位置偏差から直交座標系上での力が計算される。

$$\begin{aligned} K_x (x_d - x) &= F_x \\ K_y (y_d - y) &= F_y \\ K_z (z_d - z) &= F_z \end{aligned}$$

ここで、

$K_x$ 、 $K_y$ 、 $K_z$ ；X、Y、Z各座標系軸方向に関する柔らかさの程度を表わすパラメータ

$x$ 、 $y$ 、 $z$ ；直交座標系上でのフィードバック（X、Y、Z各成分）

$x_d$ 、 $y_d$ 、 $z_d$ ；直交座標系上での位置指令（X、Y、Z各成分）

$F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ ；ツール先端点にかかる力（位置指令で指定された位置に移動しようとする力のX、Y、Z各成分）、

である。

【0041】従つて、直交座標系上でソフトフローティングを実現する為には、ロボットの動作時に上記式中のパラメータ $K_x$ 、 $K_y$ 、 $K_z$ の値を（可変に定められた）一定値に保つような各軸の柔軟制御を行なうサーボ系を構築すれば良いことになる。

【0042】上記式は、ツール先端点にかかる力 $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ が、パラメータ $K_x$ 、 $K_y$ 、 $K_z$ と、直交座標系上における位置偏差で表わされることを示している。

\*【0037】そして、この力を逆動力学で解いて各軸のトルク $T_i$ （ $i=1, 2, \dots, n$ ；但し、 $n$ はロボットの軸数）を求め、このトルク $T_i$ と位置ループ処理のゲイン $K_p$ （通常制御用に設定されている値）と、速度ループ処理のゲイン $K_v$ （通常制御用に設定されている値）に基づいて算出された $E_i$ を、各軸の前記位置ループ処理の入力とした処理を行なうことにより、直交座標系上で指定された柔らかさが実現される。

【0038】柔らかさの調節は、パラメータの組の設定を通して実行される。位置ループ処理の入力 $E_i$ は、前記トルク $T_i$ （ $i=1, 2, \dots, n$ ；但し、 $n$ はロボットの軸数）を前記位置ループ処理のゲイン $K_p$ と速度ループ処理のゲイン $K_v$ の積で除すことによって算出することが出来る。

【0039】重力の影響を考慮する必要がある場合には、位置ループ処理の出力が予め定められた積分ゲインで積分され、速度ループ処理の出力に足し込まれてトルク指令が出力される。その際の足し込み量には一定の制限を設けることで、柔らかさが失われることを防止する。

【0040】[2] 直交座標系（ $\Sigma R$ ；O-XYZ）上でのロボット動作制御の柔らかさは、次のように表わすことが出来る。

$$\begin{aligned} &\dots (1) \\ &\dots (2) \\ &\dots (3) \end{aligned}$$

【0043】一方、逆動力学のアルゴリズムとして良く知られているNewton-Euler法（Luhのアルゴリズムとも呼ばれる。）を用いれば、ツール先端点にかかる力 $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ から、ロボットの各軸に必要なトルク $\tau_i$ （ $i=1, 2, \dots, n$ ； $n$ はロボットの軸数、以下同様。）を求めることが出来る。

【0044】Newton-Euler法は、例えば「機械系のためのロボティクス」（遠山茂樹 著；総合電子出版社、1991年5月30日第2版発行；p55～p65）に詳しいのでその詳細は省略し、使用されるアルゴリズムの結論部分のみを記せば次のようになる。このアルゴリズムは、初期化、フォワードルーチン、バックワードルーチンで構成される。

【0045】フォワードルーチンでは、ベース座標系 $\Sigma 0$ 側からロボット手先側に向かって各リンクの運動学的な情報が計算される。一方、バックルーチンでは、ロボット手先側からベース座標系 $\Sigma 0$ 側へ向かって各リンクに作用する力／モーメントが計算される。

【0046】

【数1】

【ステップ0】初期化

$$\omega_0 = \dot{\omega}_0 = 0; \dot{v}_0 = g = (g_x, g_y, g_z) \quad z_0 = (0, 0, 1)$$

【ステップ1】フォワードルーチン ( $i = 1, 2 \dots n$ )

$$\omega_i^{(i)} = R_i^T (\omega_{i-1}^{(i-1)} + z_0 \dot{q}_i) \quad \text{(旋回軸の場合)}$$

$$\omega_i^{(i)} = R_i^T \omega_{i-1}^{(i-1)} \quad \text{(直動軸の場合)}$$

$$\dot{\omega}_i^{(i)} = R_i^T (\dot{\omega}_{i-1}^{(i-1)} + z_0 \ddot{q}_i + \omega_{i-1}^{(i-1)} \times z_0 \dot{q}_i) \quad \text{(旋回軸の場合)}$$

$$\dot{\omega}_i^{(i)} = R_i^T \dot{\omega}_{i-1}^{(i-1)} \quad \text{(直動軸の場合)}$$

$$\dot{v}_i^{(i)} = \dot{\omega}_i^{(i)} \times p_i^* + \omega_i^{(i)} \times (\omega_i^{(i)} \times p_i^*) + R_i^T \dot{v}_{i-1}^{(i-1)} \quad \text{(旋回軸の場合)}$$

$$\begin{aligned} \dot{v}_i^{(i)} = & R_i^T (z_0 \ddot{q}_i + \dot{v}_{i-1}^{(i-1)}) + \dot{\omega}_i^{(i)} \times p_i^* + 2 \omega_i^{(i)} \times (R_i^T z_0 \dot{q}_i) \\ & + \omega_i^{(i)} \times (\omega_i^{(i)} \times p_i^*) \quad \text{(直動軸の場合)} \end{aligned}$$

$$\dot{v}_i^{(i)} = \dot{\omega}_i^{(i)} \times \bar{s}_i^{(i)} + \omega_i^{(i)} \times (\omega_i^{(i)} \times \bar{s}_i^{(i)}) + \dot{v}_i^{(i)}$$

$$F_i^{(i)} = m_i \times \dot{v}_i^{(i)} \quad N_i = I_i \times \dot{\omega}_i^{(i)} + \omega_i^{(i)} \times I_i \omega_i^{(i)}$$

【ステップ2】バックワードルーチン ( $i = n, n-1 \dots 1$ )

$$f_i^{(i)} = R_{i+1}^T f_{i+1}^{(i+1)} + F_i^{(i)}$$

$$n_i^{(i)} = R_{i+1}^T n_{i+1}^{(i+1)} + p_i^* \times R_{i+1}^T f_{i+1}^{(i+1)} + (p_i^* + \bar{s}_i^{(i)}) \times F_i^{(i)} + N_i^{(i)}$$

$$\tau_i = n_i^{(i)} R_i^T z_0 + b_i \dot{q}_i \quad \text{(旋回軸の場合)}$$

$$\tau_i = f_i^{(i)} R_i^T z_0 + b_i \dot{q}_i \quad \text{(直動軸の場合)}$$

各記号の意味は次の通りである。

$n_i^{(i)}$  :  $i-1$  番目の軸で駆動されるリンク (以下、リンク  $i-1$  などと言う。) からリンク  $i$  に及ぼされるトルクの  $\Sigma i$  表示。但し、 $\Sigma i$  は  $i$  番目の軸上に設定された座標系  $\Sigma i$  を表わす。

$f_i^{(i)}$  : リンク  $i-1$  からリンク  $i$  に及ぼされる力の  $\Sigma i$  表示

$F_i^{(i)}$  : リンク  $i$  に及ぼされる外力ベクトルの  $\Sigma i$  表示

$N_i^{(i)}$  : リンク  $i$  に及ぼされるモーメントベクトルの  $\Sigma i$  表示

$R_i$  : 座標系変換行列  $A_i$  の主座の  $3 \times 3$  行列で、回転

を表わす。なお、座標系変換行列  $A_i$  は、 $i$  番目の軸上に設定された座標系  $\Sigma i$  から  $i-1$  番目の軸上に設定された座標系  $\Sigma i-1$  への座標変換行列である。但し、座標系  $\Sigma 0$  は前記直交座標系と一致させたベース座標系にとる。

【0047】  $p_i^*$  :  $\Sigma i$  表示の  $\Sigma i-1$  原点から  $\Sigma i$  原点への位置ベクトル

$g$  : 重力ベクトル

$s_i$  バー :  $\Sigma i$  表示のリンク  $i$  の重心位置を示す位置ベクトル

$I_i$  :  $\Sigma i$  表示のリンク  $i$  の重心周りの慣性モーメント

$z_0$  :  $\Sigma 0$  の Z 軸方向の単位ベクトルで、 $\Sigma 0$  上では (0, 0, 1) と表わされる

$b_i$  :  $i$  番目の関節軸の粘性抵抗

$q_i$  :  $i$  番目の関節軸の軸変数で、 $q_i = \theta_i$  (リンク  $i$  の角度) として良い

$\omega$ 、 $\omega$  ドット :  $\Sigma 0$  表示のリンク  $i$  の角速度、角加速度  
上記アルゴリズムにおいて使用される諸量は、ロボットの構造パラメータ、各軸の位置、速度、加速度等から計算される。また、前述の式 (1) ~ (3) に従って位置偏差 ( $x_d - x$ )、( $y_d - y$ )、( $z_d - z$ ) と柔らかさを表わすパラメータ  $K_x$ 、 $K_y$ 、 $K_z$  から定められる  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  は、上記アルゴリズム中の  $f_{n+1}^{(n+1)}$  に取入れられる。 $f_{n+1}^{(n+1)}$  は、 $\Sigma_{n+1}$  をツール座標系として定義することにより、ツール座標系の原\*

$$K_p \ K_v \ E_i = T_i$$

但し、 $K_p$  は位置ループゲイン、 $K_v$  は速度ループゲイン、 $E_i$  は軸  $i$  の位置ループの入力を表わしている。図 9 は、このサーボ系を図 8 に準じた表記で示したものである ( $K_p$ 、 $K_v$  は便宜上各軸共通の表記としたが、各軸毎に設定される場合には  $K_p$ 、 $K_v$  に代えて  $K_{pi}$ 、 $K_{vi}$  とすれば良い)。図 8 と図 9 の差異は位置ループ処理への入力  $e$  から  $E_i$  に変わっていることである。即ち、各軸の位置ループ入力  $E_i$  は従来のサーボ系 (図 8 参照) における位置偏差  $e$  のように、その軸  $i$  の位置指令  $r$  と位置フィードバック  $q$  の偏差で定義されるものではないことである。

【0051】この  $E_i$  は、直交座標系上でのサーボの柔※

$$E = T / (K_p \ K_v)$$

以上のことから、各軸について上記 (5) 式で決定される  $E_i$  を各軸の位置ループ入力とすることにより、前述の関係式 (1) ~ (3) で表わされる直交座標系上での柔らかさを実現するために必要なトルク  $T_i$  が発生する。従って、前述のステップ S 2 において、 $K_x$  を十分小さく設定する一方、 $K_y$  及び  $K_z$  を十分大きく設定すれば、Z 軸方向のみの柔らかさを実現することが出来る。

【0053】次に重力の作用を考慮する。重力の作用を考慮に入れた制御は、図 9 に示したサーボ系に積分器を付加することで達成出来る。これを、図 9 に準じた表記で図 8 に示す。図 10 において、 $K_p$ 、 $K_v$  は便宜上各軸共通の表記としたが、各軸毎に設定される場合には  $K_p$ 、 $K_v$  に代えて  $K_{pi}$ 、 $K_{vi}$  とすれば良いことは図 9 の場合と同様である。図 9 と図 10 の差異は、 $E_i$  を入力とする位置ループ処理で出力される速度指令  $v_c$  に対して重力分を補償する積分項 106 ( $K_g / s$  : 但し、 $K_g$  は積分器のゲイン) が計算され、速度指令  $v_c$  を入力とする速度ループ処理で計算されるトルク  $T_i$  に足し込まれることである。

【0054】この積分項 106 は、鉛直上向き方向に★

$$\text{IF } I > I_{GR} + I_{SOFT-LIM} \quad \text{THEN } I = I_{GR} + I_{SOFT-LIM} \quad \dots (6)$$

$$\text{IF } I < I_{GR} - I_{SOFT-LIM} \quad \text{THEN } I = I_{GR} - I_{SOFT-LIM} \quad \dots (7)$$

\* 点に働く力をツール座標系上で表わしていると考えることが出来る。

【0048】そこで、ツール座標系の姿勢を表わす現在データを行列  $U$  とし、 $F = (F_x, F_y, F_z)^T = (F_x^{(0)}, F_y^{(0)}, F_z^{(0)})^T$  とすれば、行列演算  $UF$  によって、 $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  のツール座標系上の表現が計算される。これを  $F^{(n+1)} = (F_x^{(n+1)}, F_y^{(n+1)}, F_z^{(n+1)})^T$  とすれば、 $f_{n+1}^{(n+1)} = F^{(n+1)}$  となる。

10 【0049】ここで、重力を考慮しない条件 ;  $g = (0, 0, 0)$  で上記アルゴリズムを用いて求められた軸  $i$  のトルク  $\tau_i$  ( $g = 0$ ) を  $T_i$  とすれば、その軸のサーボ系は次のように表わされる。

【0050】

$$\dots (4)$$

※ 柔らかさを表わすパラメータの組  $K_x$ 、 $K_y$ 、 $K_z$  と直交座標系上での位置偏差 ( $x_d - x$ )、( $y_d - y$ )、( $z_d - z$ ) から計算される力を逆動力学で解いて求められた各軸のトルク  $T_i$  と、位置ループゲイン  $K_p$  と、速度ループゲイン  $K_v$  に基づいて算出されたものである。

【0052】換言すれば、この  $E_i$  は、直交座標系上でパラメータ  $K_x$ 、 $K_y$ 、 $K_z$  で表わされる柔らかさを実現させる為にそのロボット軸のサーボ系が持つべき柔らかさに応じて各軸の位置偏差  $e$  を修正したものと解釈することも出来る。E を次式 (5) で記す。

$$\dots (5)$$

★ いてトルク不足となる状態を回避する手段を提供するものである。例えば本実施形態の如く、直交座標系  $\Sigma R$  の Z 軸を鉛直上向き方向にとり、 $K_z$  を小さく (柔らかさは大) に設定した場合、積分項 106 が無い場合には  $T_i$  だけでは重力に打ち勝つことさえ出来ず、落下事故を起こす可能性がある。積分項 106 があれば、 $T_i$  だけでは重力に打ち勝つことが出来なくとも、ゲイン  $K_g$  に応じてトルク  $T_i$  が増大し、十分なトルクが発生する。

【0055】但し、この積分項 106 で表わされる積分器には重力分のトルクが溜まる性質があるので、積分器の出力に一定の制限値を設ける必要がある。もし、制限値を設けないと、積分器に外力以上の力が溜り、柔らかさを失ってその軸の指令位置に向かう強制的な動きが発生する。

【0056】そこで、ソフトフローティング起動時に積分器に溜まっている値 (出力) を  $I_{GR}$  として、ソフトフローティング時には次のような制限を設ける。 $I_{SOFT-LIM}$  の値はチューニング等によって各軸毎に適当に設定される。

このような重力を考慮した手法を、前述した条件 ( $K_x$  と  $K_y$  は大、 $K_z$  は小) で適用すれば、落下事故の心配なく治具クランプ動作を行なうことが出来る。

【0057】 [3] 上記 [1]、[2] の説明を前提に、ソフトフローティング条件設定とソフトフローティング制御の処理について補足説明する直交座標系ソフトフローティングが有効にされると図 11 に示した処理が所定周期で実行され、ソフトフローティングが発揮される。まず、ステップ H1 では、直交座標系  $\Sigma 0$  における位置偏差と設定されたパラメータ ( $K_x$ 、 $K_y$ 、 $K_z$ ) を用いて、直交座標系  $\Sigma R$  上における力 ( $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ ) を求める。直交座標系  $\Sigma R$  上における位置偏差は、各軸における位置偏差から順運動学で計算出来る。続くステップ H2 では、直交座標系  $\Sigma 0$  上で求められた力 ( $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ ) をロボットの現在姿勢データを用いてツール座標系  $\Sigma_{n+1}$  上のデータ ( $F_x^{(n+1)}$ 、 $F_y^{(n+1)}$ 、 $F_z^{(n+1)}$ ) に変換する。

【0058】 更に、( $F_x^{(n+1)}$ 、 $F_y^{(n+1)}$ 、 $F_z^{(n+1)}$ ) = ( $f_x^{(n+1)}$ 、 $f_y^{(n+1)}$ 、 $f_z^{(n+1)}$ ) として、作用の欄で説明した Newton-Euler 法により、各軸のトルク  $T_i$  を計算し (ステップ H3)、 $T_i / (K_p K_v)$  から位置ループ入力  $E_i$  を計算する (ステップ H4)。計算された位置ループ入力  $E_i$  を入力とする位置ループ処理、位置ループ出力を入力とする積分処理と速度ループ処理、積分処理と速度ループ処理の出力を加算するトルク指令作成処理等を実行すれば (ステップ H5)、図 5 の設定画面通りのソフトフローティングが発揮される。積分処理と速度ループ処理の出力の加算は、設定された I SOFT-LIM の下で、前出の (6)、(7) 式の制限を守った範囲で行なわれる。

【0059】 なお、直交座標系上で柔らかさを表わすパラメータの設定は画面入力で行なったが、動作プログラムの中で指定する方式としても良い。

【0060】

【発明の効果】 本発明によれば、スポット溶接の加圧位置が、教示のずれ、チップ摩耗などによってずれた場合でも、ガン及び対象ワークにかかる負荷が軽減でき、ガン、ワーク、ロボット等の損傷を防ぐことができる。また、サーボガンを使用している場合にチップ摩耗補正が不要になるため摩耗量を算出する設備が削減でき、コスト上も有利となる。更に、サーボガンを使用している場合に、チップ摩耗補正に必要な設備のメンテナンス、補正を行なうメンテナンス等が不要になり、保守性が向上する。エアーガン、サーボガンにおいて、特別のイコライジング機構が不要となり、ガンの軽量化、コストの低減も図られる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 サーボガンをロボットに搭載した配置について説明する図である。

【図 2】 定置ガンを使用した配置について説明する図である。

【図 3】 旧来技術における問題について説明するための図である。

【図 4】 本発明が適用されるスポット溶接システムのハードウェア構成を要部ブロック図で示したものである。

【図 5】 柔らかさ入力画面の例を示した図である。

【図 6】 スポット溶接実行時の処理の流れを示すフローチャートである。

【図 7】 本実施形態に従ってガン加圧動作を行った際の様子を説明するための図である。

【図 8】 従来のサーボ系の構成を示したブロック図である。

【図 9】 重力を考慮せずに直交座標系上ソフトフローティングを実行するサーボ系の構成を示したブロック図である。

【図 10】 重力を考慮して直交座標系上ソフトフローティングを実行するサーボ系の構成を示したブロック図である。

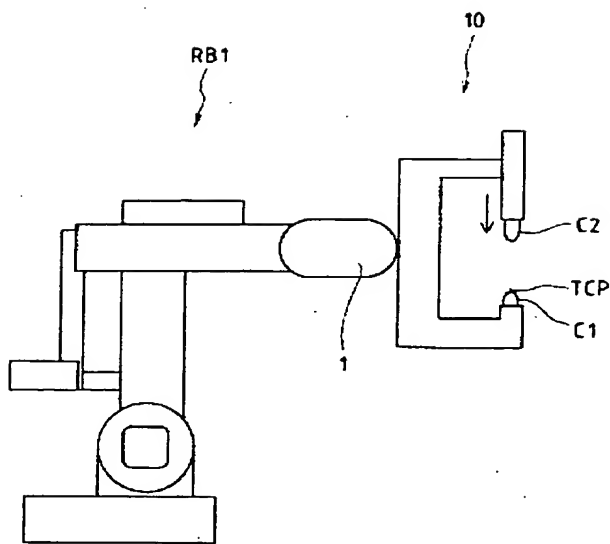
【図 11】 直交座標系上ソフトフローティング有効化時の処理の概要を説明するフローチャートである。

【符号の説明】

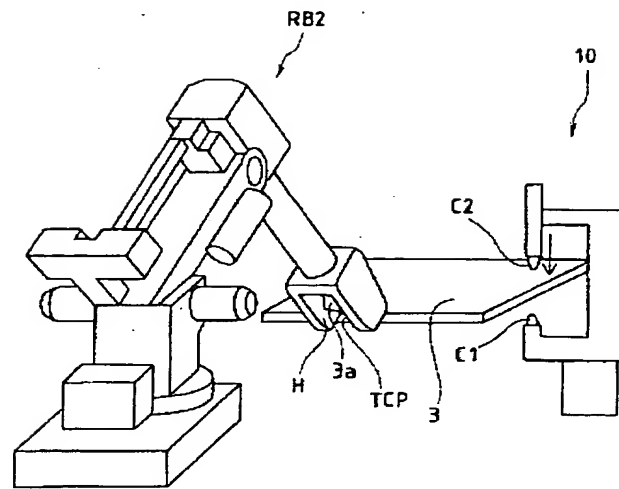
- 1 ロボット手先部
- 2、3 ワーク
- 3a 突起部
- 10 サーボガン
- 31 ホスト CPU
- 32 共有メモリ
- 33 サーボ CPU
- 34 サーボアンプ
- 35 メモリ
- 36 教示操作盤用インターフェイス
- 37 教示操作盤
- 38 入出力装置
- 39 溶接用電源装置
- 101 位置ループゲインの項
- 102 速度ループゲインの項
- 103、104 モータの伝達関数の項
- 105 モータ速度からモータ位置を求める伝達関数
- 106 重力分を補償する積分項
- C1 固定溶接チップ
- C2 可動溶接チップ



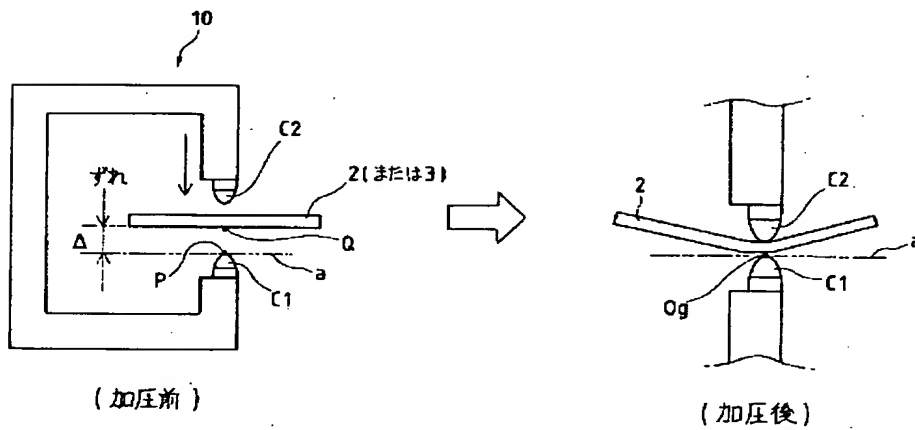
【図1】



【図2】



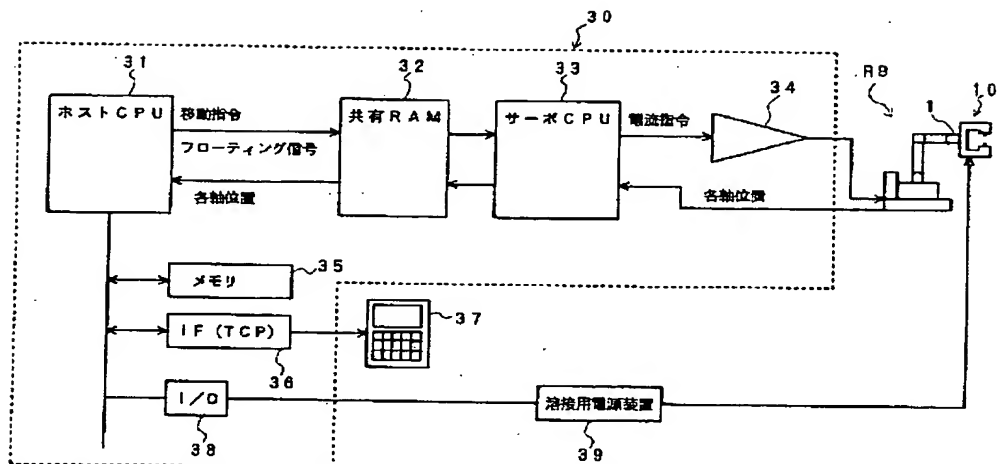
【図3】



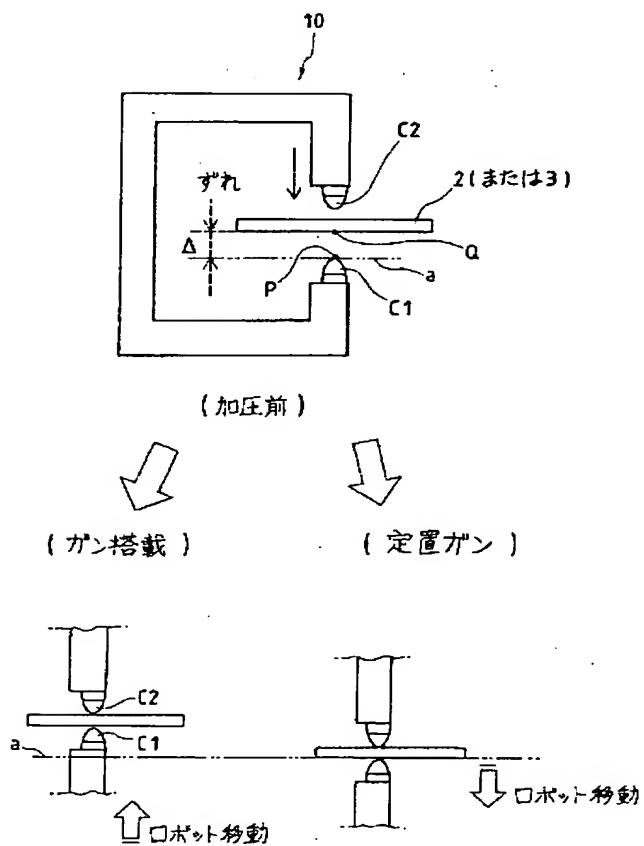
【図5】

ソフトフロート (チョコウ)				
グループ1				
1	ジョウケン	No	[ 1 ]	%
2	ソフトフロート	ユウコウ/ムコウ	[ ユウコウ ]	%
3	ソフトフロートザビョウケイ		[ ツール ]	%
	ヤワラカ	フリアイ	ヤワラカ	リミット
4	Xホウコウ	[ 0 ]	[ 0 ]	%
5	Yホウコウ	[ 0 ]	[ 0 ]	%
6	Zホウコウ	[ 80 ]	[ 90 ]	%
7	Xマワリ	[ 0 ]	[ 0 ]	%
8	Yマワリ	[ 0 ]	[ 0 ]	%
9	Zマワリ	[ 0 ]	[ 0 ]	%
[ガメン]    パンゴウ    イチラン    カクジク    チョウコウ				

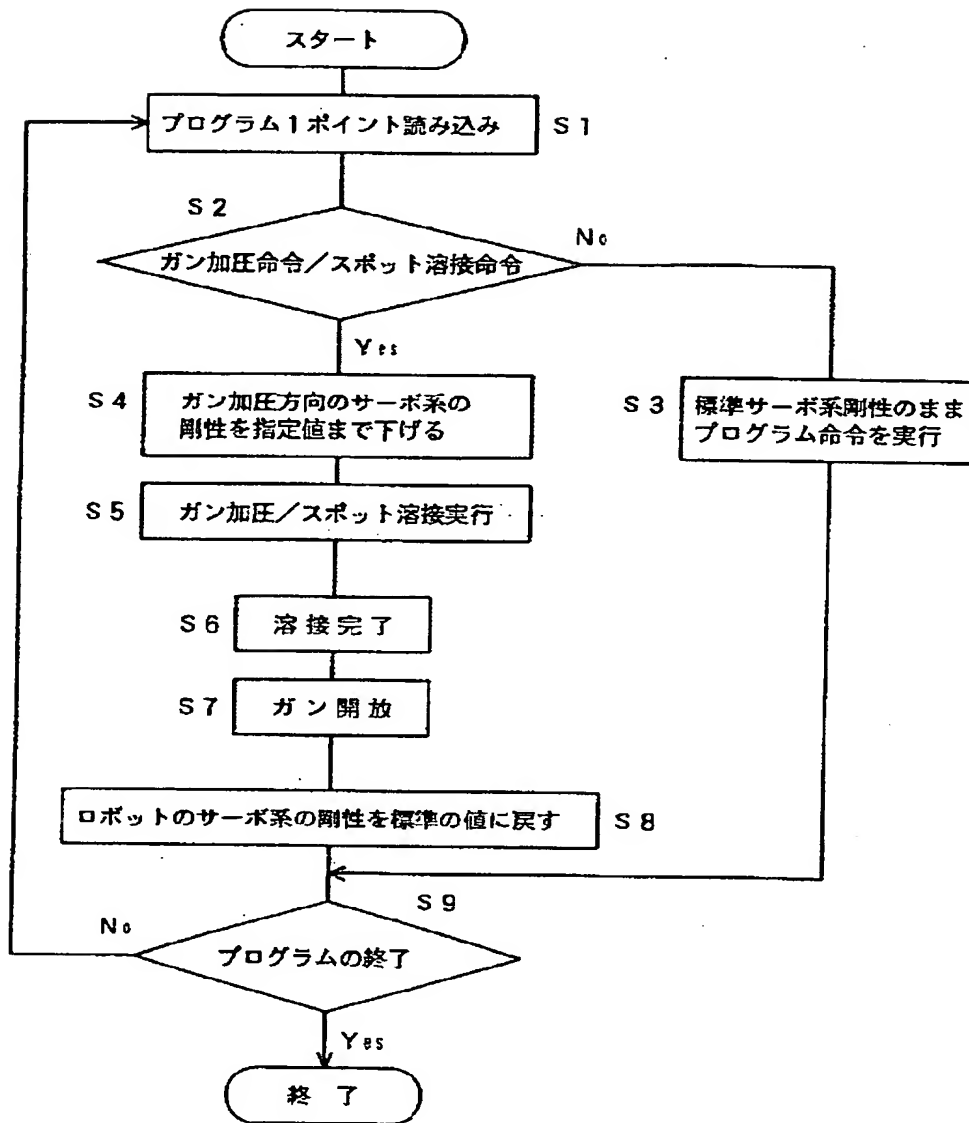
【図 4】



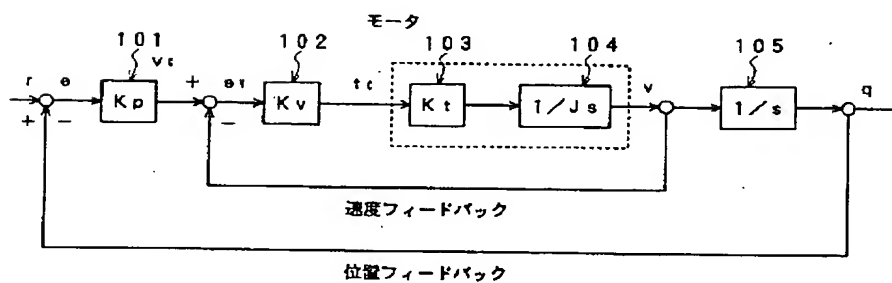
【図 7】



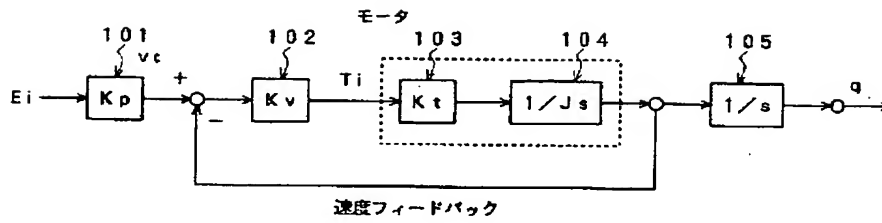
【図6】



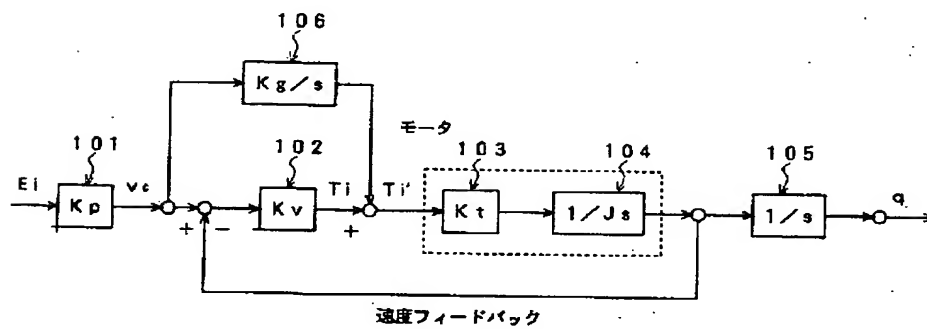
【図8】



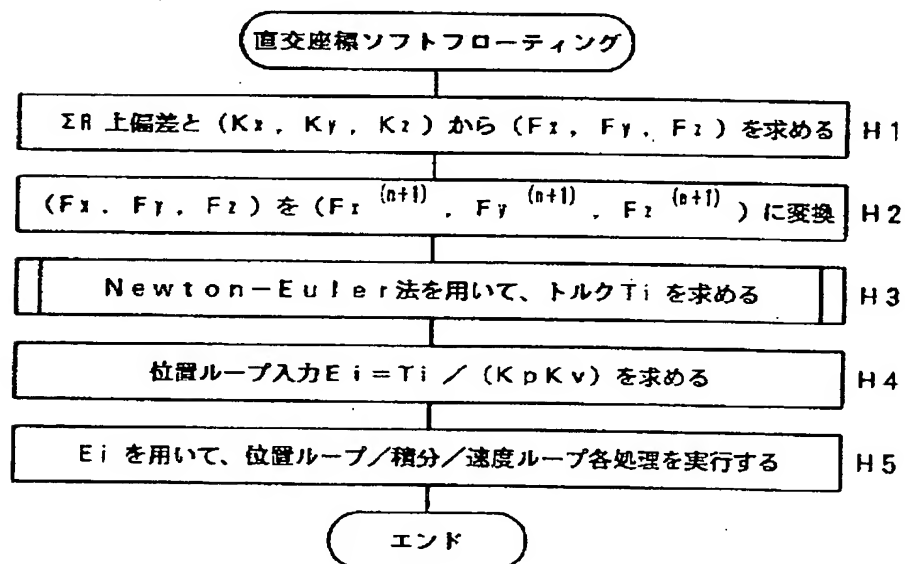
【図9】



【図10】



【図11】



(13) 特開 2000-5881 (P2000-5881A)

フロントページの続き

(72)発明者 池田 好隆

山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番

地 ファナック株式会社内

Fターム(参考) 3F059 AA05 BA03 FB30 FC00

4E065 AA05 AA08